

ÉTUDE DE LA POLARISATION D'UNE ONDE LUMINEUSE.



Observation en lumière polarisée des interférences créées par un milieu biréfringent.

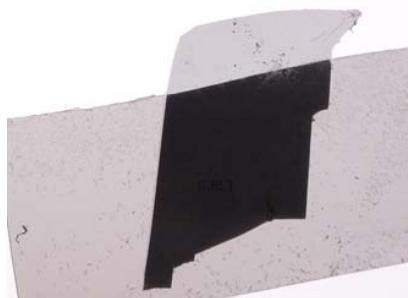
I. PRODUCTION D'UNE LUMIERE POLARISEE.

1. POLARISEURS RECTILIGNES.

L'obtention de la lumière de polarisation rectiligne est, en pratique, une étape indispensable pour accéder à une polarisation elliptique ou circulaire à l'aide d'une lame quart d'onde. Pour les détecteurs usuels, la lumière naturelle émise par les sources n'est pas polarisée. L'objectif d'un polariseur est d'éliminer une composante rectiligne du champ électrique E parallèle à une direction privilégiée et perpendiculaire à la direction du champ E transmis ou direction de polarisation. Le polariseur crée une dissymétrie autour de la direction de propagation.

a. POLARISATION PAR ABSORPTION OU DICHROÏSME.

- Les polariseurs les plus courants sont réalisés à l'aide de feuilles polarisantes ou feuilles polaroïds, inventées en 1932 par E.H. Land. Elles se présentent sous la forme de feuilles transparentes d'aspect bleu-gris et utilisent le dichroïsme de substances (ici les ions iodures : iodosulfate de quinine) dont on a imprégné un support plastique formé de longues chaînes d'hydrocarbures alignées par étirement. Ainsi, on obtient une grille organique qui se comporte comme une grille métallique : la composante du champ électrique \vec{E} suivant la direction de la grille est fortement absorbée (transmittance de l'ordre de 0,0002%) alors que celle suivant la direction perpendiculaire est transmise avec un facteur de l'ordre de 50%.
- Plus généralement, les milieux dichroïques ont la particularité d'absorber sélectivement une composante rectiligne d'une onde plane qui s'y propage. En faisant traverser à l'onde une épaisseur convenable d'un milieu dichroïque, on éteint presque totalement l'une de ses composantes rectilignes. L'onde émerge alors rectilignement suivant la direction ou axe de transmission, qui est perpendiculaire à la direction ou axe d'absorption. Ces feuilles polarisantes constituent de bons polariseurs même si la polarisation n'est pas parfaite dans tout le spectre visible.



Feuilles polarisantes croisées.

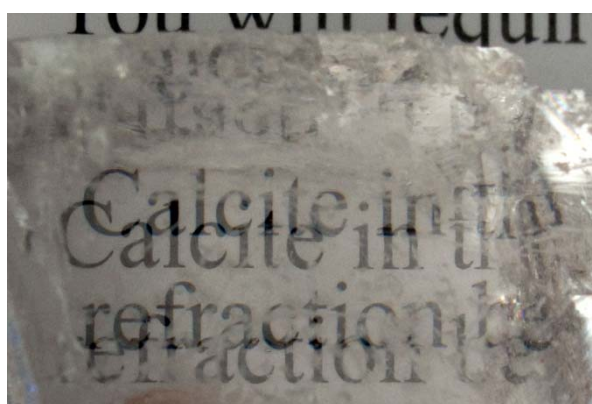
- Certaines substances, comme la tourmaline, sont naturellement dichroïques et possèdent la propriété d'absorber sélectivement une composante de la lumière naturelle. Comme ces propriétés dépendent de la longueur d'onde, la tourmaline présente une couleur verdâtre suivant la direction transmise et apparaît opaque dans la direction d'amortissement. Ces deux aspects colorés sont à l'origine du mot dichroïsme. Les substances naturelles dichroïques donnent des polariseurs de qualité bien supérieure aux polaroïds, mais ces polariseurs ont le désavantage d'être de petites dimensions et très chers.



Pierre taillée en tourmaline

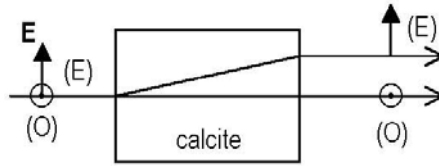
b. LA BIREFRINGENCE

- Beaucoup de cristaux transparents et anisotropes tels que la calcite (CaCO_3) ou le quartz (SiO_2) divisent un faisceau incident en deux faisceaux séparés de polarisations rectilignes orthogonales, le faisceau ordinaire (O) et le faisceau extraordinaire (E). On dit qu'ils sont biréfringents (doublement réfringents).



- A première vue, le faisceau ordinaire suit les lois de Descartes mais pas le faisceau extraordinaire. Ce phénomène a été découvert par le Danois E. Bartolin vers 1665 sur du spath d'Islande qui est du carbonate de calcium cristallisé.

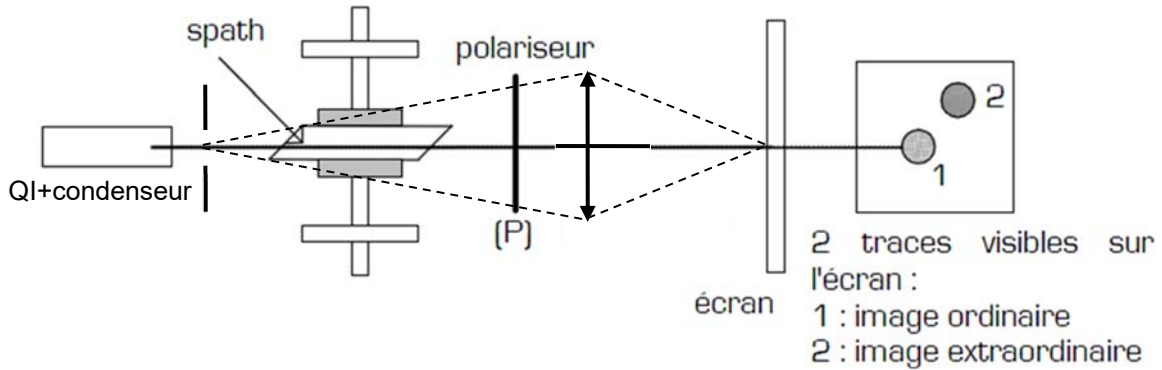
- On attribue ces propriétés d'anisotropie à la structure dissymétrique de l'édifice cristallin : le cristal de calcite est un rhomboédre, i.e. un cube étiré le long de sa diagonale. Ces matériaux sont utilisés pour la réalisation de polariseurs biréfringents rectilignes¹.



Remarque : Dans certains cristaux, comme la calcite, on a $n_o > n_e$ et dans d'autres, comme le quartz, on a $n_o < n_e$.

Manipulation.

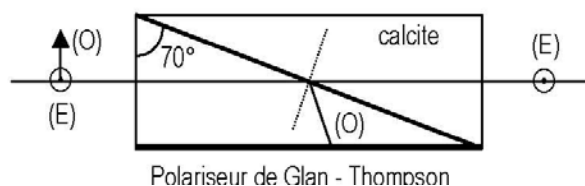
En lumière blanche, on fait l'image d'un diaphragme sur un écran à l'aide d'une lentille convergente. On insère un spath entre l'objet et la lentille : On observe alors sur l'écran deux images D et D' décalées. On place alors un polariseur (P) après le spath. En faisant tourner le polariseur, on observe l'extinction des deux taches pour deux angles décalés de $\frac{\pi}{2}$ [rad].



C. POLARISATION PAR REFLEXION VITREUSE.

- Ce phénomène fut découvert inopinément par Malus en 1809, alors qu'il observait au travers d'un cristal biréfringent (calcite), les reflets du Soleil sur une vitre. Il constata qu'en faisant tourner le cristal, il était possible d'éteindre presque complètement ces reflets.
- Considérons une onde lumineuse plane, éclairant un dioptre plan qui sépare deux milieux transparents, linéaires, homogènes et isotropes d'indices réels n_1 et n_2 . Au niveau du dioptre, cette onde va subir une transmission partielle et une réflexion

¹ Ces polariseurs sont très utilisés lorsque l'on souhaite obtenir de la lumière polarisée avec un fort degré de pureté. Les plus connus sont les polariseurs en calcite à champ normal, i.e. ceux qui sont taillés en cohérence avec le réseau cristallin et éclairé en incidence normale. Ces polariseurs biréfringents, dans un premier temps, dédoublent le faisceau incident en deux faisceaux parallèles, d'intensités égales, de polarisations rectilignes orthogonales puis, dans un deuxième temps, par réflexion interne un des deux faisceaux est éliminé (réflexion totale) alors que le second faisceau est transmis. Cette séparation est possible car pour une même direction de propagation, le matériau possède pour deux directions orthogonales des indices différents, un indice ordinaire et un indice extraordinaire. Les indices de la calcite sont $n_o = 1,6584$ et $n_e = 1,4864$. Le polariseur de Glan-Thompson est formé de deux prismes biréfringents séparés par une substance d'indice $n_c = 1,55$. D'après les lois de Descartes sur la réfraction, $i_{Lo} = \arcsin\left(\frac{1,55}{1,6584}\right) = 69,2^\circ < 70^\circ$, le rayon ordinaire subit une réflexion totale et le rayon extraordinaire est transmis puisque $n_c > n_e$. Le faisceau ordinaire est, après réflexion totale, totalement absorbée par la base noircie du polariseur.

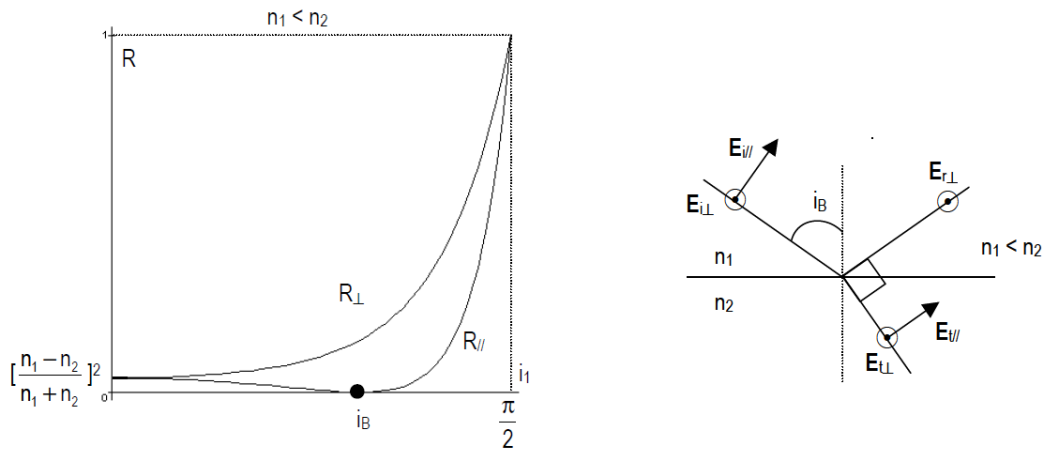


partielle qualifiée de réflexion vitreuse. Ses caractéristiques la distinguent de la réflexion métallique qu'engendrent les matériaux conducteurs. On peut décomposer le champ électrique de cette onde incidente en deux composantes transverses \vec{E}_{\parallel} et \vec{E}_{\perp} , ainsi notée car la première est parallèle au plan d'incidence, tandis que la seconde lui est orthogonale.

- Pour la valeur particulière i_B de l'angle d'incidence, pour laquelle les rayons réfléchi et réfracté sont perpendiculaires, la composante parallèle \vec{E}_{\parallel} de l'onde réfléchie est nulle. L'onde réfléchie est alors polarisée rectilignement, suivant la direction perpendiculaire au plan d'incidence.
- L'angle de Brewster est donné par la relation $\tan i_B = \frac{n_2}{n_1}$
- La théorie électromagnétique donne les coefficients de réflexion en énergie pour les champs \vec{E}_{\parallel} et \vec{E}_{\perp} :

$$R_{\perp} = \left(\frac{\sin(i_1 - i_2)}{\sin(i_1 + i_2)} \right)^2 \text{ et } R_{\parallel} = \left(\frac{\tan(i_1 - i_2)}{\tan(i_1 + i_2)} \right)^2$$

avec i_1 l'angle d'incidence et i_2 l'angle de réfraction reliés par la relation de Descartes : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$



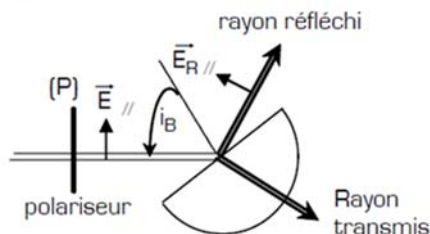
Remarques :

1. $1 < \frac{n_2}{n_1} < 2,4$ alors $45^\circ < i_B < 65^\circ$. Pour le dioptre air/verre, on trouve i_B de l'ordre de 55° .
2. n_1, n_2 et donc i_B varient avec la longueur d'onde λ de l'onde incidente. Mais leurs variations sont toujours très faibles et n'affectent pas le résultat. La polarisation est presque totale pour toutes les longueurs d'ondes du spectre visible.
3. Ce type de polarisation possède deux inconvénients : La direction de l'onde polarisée est différente de celle de l'onde incidente, ce qui est peu pratique dans les montages ; Le pouvoir réflecteur $R_{\perp}(i_B)$ est faible, beaucoup d'énergie a été perdue.
4. La lumière polarisée de certains lasers résulte de cette « réflexion brewstérienne ».



Manipulation :

- Eclairer, à l'aide d'un faisceau laser, la face plane du demi-cylindre de Plexiglas.
- Orienter le polariseur (P) de façon que le champ électrique tombant sur le prisme soit contenu dans le plan d'incidence.
- Observer les variations d'intensité du faisceau réfléchi par rotation du demi-cylindre : Constaté que le rayon réfléchi est totalement éteint pour une incidence particulière de l'angle d'incidence. Noter sa valeur et comparer à la valeur théorique attendue.



Observation n°1 : observer la réflexion sur une vitre à travers un polariseur tenu à la main en le faisant pivoter. Deux observations peuvent être effectuées : lumière réfléchie sur une surface horizontale (flaque d'eau, capot de voiture, etc.) ou sur une surface verticale (vitre latérale de voiture, vitre de bâtiment, etc.).

Pour une orientation donnée, la lumière réfléchie paraît très atténuée. Quelle est cette orientation ? Est-elle identique pour la lumière réfléchie sur une surface horizontale et sur une surface verticale ?

De plus en plus de lunettes solaires vendues dans le commerce possède des verres polarisés. Pourquoi et quelle composante du champ électrique ces verres laissent-ils passer ?

d. POLARISATION PAR DIFFUSION

PRINCIPE.

- On remplit un bac transparent, en forme de parallépipède allongé, d'eau distillée. Après un temps de repos, pour éliminer les bulles de gaz emprisonnées dans l'eau, on laisse un faisceau de lumière cylindrique traverser cet aquarium dans le sens de la longueur. Au niveau de la cuve, on regarde la lumière dans la direction perpendiculaire au faisceau.
- Avec de l'eau distillée, le faisceau est à peine visible, on le devine. La lumière est très peu diffusée dans notre direction.
- On recommence l'expérience avec de l'eau du robinet chargée de particules invisibles. Cette fois, le faisceau est nettement visible dans notre direction bien qu'elle soit perpendiculaire à la propagation de la lumière. La lumière est fortement diffusée par les impuretés de l'eau dans notre direction. Regardons désormais cette lumière à travers un analyseur. En faisant tourner le polariseur de 360° autour de son axe, on observe deux extinctions presque totales de la lumière, le faisceau disparaît. La lumière diffusée par les impuretés de l'eau est donc polarisée rectilignement.

LUMIERE INCIDENTE NATURELLE (SANS POLARISEUR)

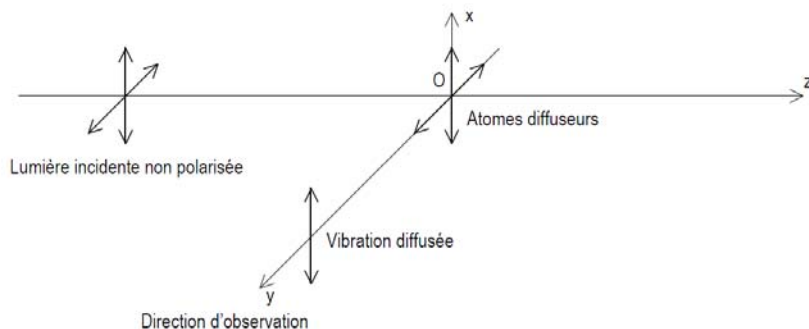
On observe une extinction presque totale pour deux directions de l'analyseur : la lumière diffusée est presque totalement polarisée dans la direction perpendiculaire au plan formé par la direction du faisceau incident et la direction d'observation (Ox).

LUMIERE INCIDENTE POLARISEE (AVEC POLARISEUR)

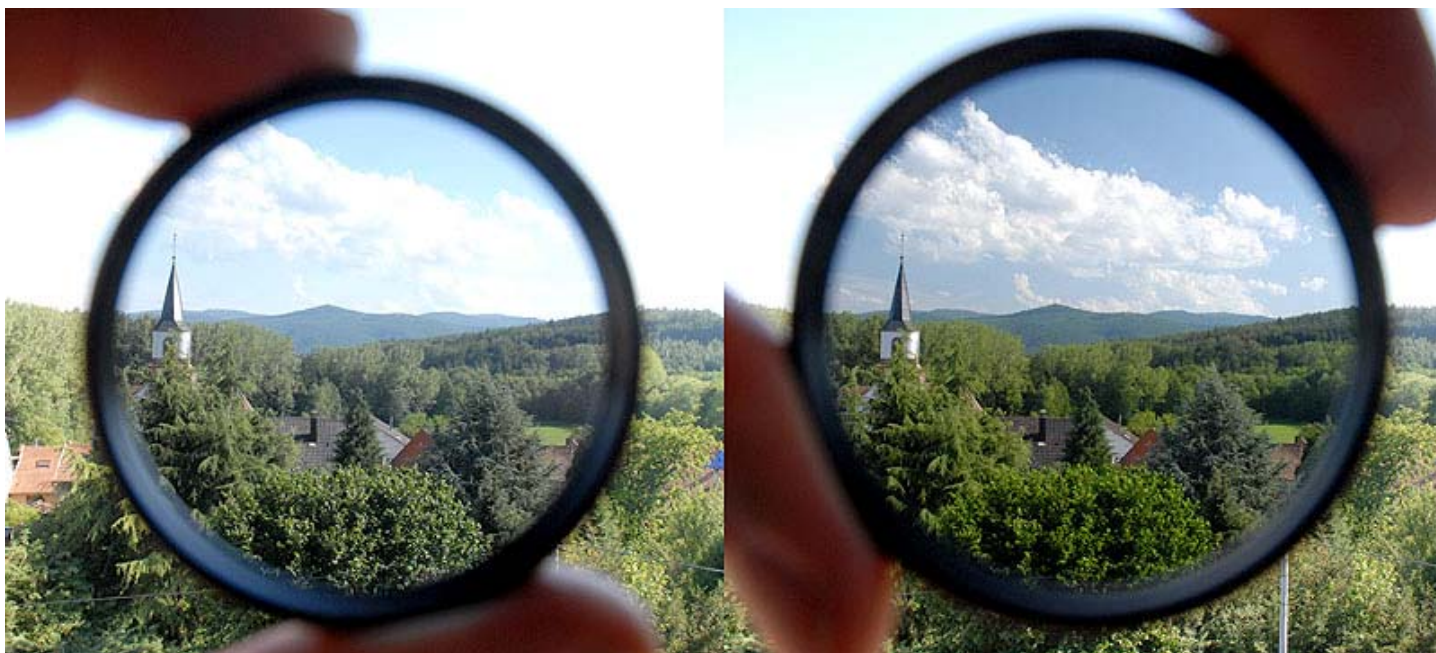
On interpose un polariseur (P) entre la source et la cuve sur le trajet du faisceau incident. On peut décomposer l'onde transmise par le polariseur en deux composantes rectilignes, perpendiculaires suivant (Ox) et (Oy) d'intensités différentes. Dans la direction de diffusion (Oy), l'amplitude de la vibration rectiligne parallèle à (Ox) et l'intensité de la lumière ne dépendent que de la composante efficace (Ox) de la vibration incidente.

- Si la lumière incidente est initialement polarisée suivant (Ox), la vibration diffusée est polarisée suivant (Ox) et l'onde recueillie après l'analyseur possède une amplitude maximale : Ici, l'analyseur ne joue aucun rôle.
- Si la lumière incidente est initialement polarisée suivant (Oy), la composante efficace est nulle et la lumière diffusée a une intensité nulle.

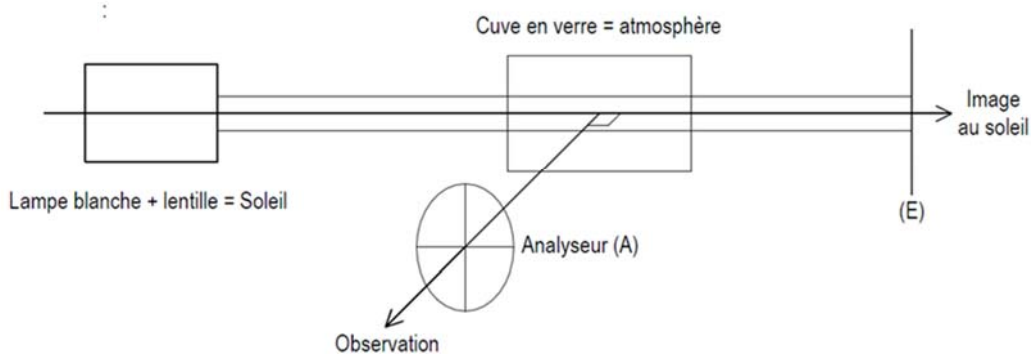
- Si la lumière incidente est initialement polarisée dans le plan (Oxy), la vibration diffusée est polarisée suivant (Ox) et l'onde recueillie après l'analyseur possède une amplitude qui suit une loi du type Malus.



Remarque : Par réflexion sur les obstacles, comme la mer, la neige ou les feuilles lisses des arbres ou par diffusion dans l'air, la lumière non polarisée provenant du Soleil se transforme au moins partiellement en une lumière polarisée. L'Homme est pratiquement insensible à la lumière polarisée, contrairement à certains animaux comme les abeilles, les fourmis ou les écrevisses qui l'utilisent pour s'orienter.



- Manipulation : Expérience du soleil couchant**



La cuve est remplie d'une solution aqueuse de thiosulfate de sodium ou potassium. Le faisceau de lumière cylindrique traverse cet aquarium dans le sens de la longueur et éclaire un écran placé après la cuve. On acidifie le milieu par quelques gouttes d'une solution concentrée de H_2SO_4 , ce qui provoque l'apparition progressive de particules de soufre en suspension dans l'eau : $\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{S} + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. La cinétique est lente.

Progressivement, il apparaît dans la solution aqueuse des traînées colloïdales de soufre présentant des reflets bleus. De plus comme la lumière incidente est appauvrie en couleur bleue, la tâche du faisceau cylindrique sur l'écran devient rougeâtre. La cause en est la même que le rougeoiement du Soleil à son lever ou à son coucher, la puissance diffusée dépend de la fréquence. C'est la diffusion de Rayleigh. Mais s'il y a trop de soufre, le blanc s'impose : c'est la diffusion de Mie comme dans les nuages. La diffusion de Mie est indépendante de la longueur d'onde donc il apparaît du blanc.

Observation n°2 : Vérifier (s'il fait beau) que la lumière bleue diffusée par le ciel est partiellement polarisée en mettant simplement un polariseur devant votre œil qui regarde le ciel et en le faisant tourner. Quelle est la direction de polarisation ?

e. LOI DE MALUS

On suppose que le polariseur P et l'analyseur A utilisés sont des polariseurs rectilignes parfaits, i.e que l'on négligera les pertes d'énergie par réflexion et par absorption. A l'aide du polariseur P, on crée un faisceau lumineux d'intensité I_o , caractérisé par un champ électrique polarisé rectilignement d'amplitude E_o , que l'on envoie en incidence normale sur l'analyseur A, $I_o = KE_o^2$

On appelle θ l'angle que font les directions des vibrations transmises par le polariseur P et par l'analyseur A. Le champ électrique E transmis par le polariseur P peut être décomposée en deux composantes suivant les axes de l'analyseur placé en $z = 0$:

$$E_x = E_o \cdot \cos\theta \cdot \cos\omega t \text{ et } E_y = E_o \cdot \sin\theta \cdot \cos\omega t$$

L'analyseur A, supposé parfait, transmet seulement la composante E_x . L'intensité de la vibration émergente est proportionnelle à la norme du champ électrique donc :

$$I_t = KE_{ox}^2 = KE_o^2 \cos^2 \theta = I_o \cos^2 \theta$$

Cette relation traduit la loi de Malus.

On la met en évidence en étudiant les variations de I_t mesurées avec un photorécepteur quand on fait tourner l'analyseur A.

Remarques :

1. Pour $\theta = \frac{\pi}{2}$ ou $\frac{3\pi}{2}$, le polariseur et l'analyseur sont croisés ; $I_t = 0$, la lumière transmise par le polariseur P est éteinte par l'analyseur A.
2. Pour $\theta = 0$ ou π , le polariseur et l'analyseur sont parallèles ; $I_t = I_o$, la lumière transmise par le polariseur P est entièrement transmise par l'analyseur A.
3. On utilise l'extinction de l'intensité pour déterminer la direction de polarisation rectiligne d'une onde qui est la direction perpendiculaire à celle de l'analyseur.

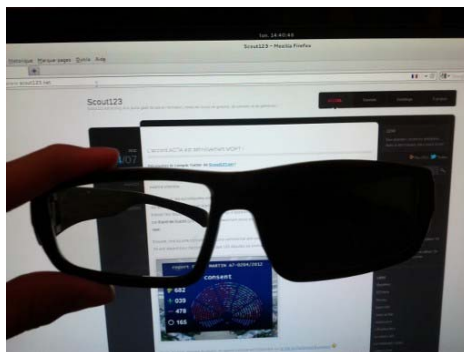
Manipulation :

On dispose d'un luxmètre, permettant de mesurer l'intensité de la lumière en sortie de montage. Faire le schéma et réaliser le montage permettant de vérifier la loi de Malus et tracer la courbe $I = f(\cos^2 \theta)$

Observation n°3 : regardez votre montre à cristaux liquides ou votre calculatrice à travers un polariseur que vous faites tourner. Que constatez-vous ?

Les écrans à cristaux liquides sont constitués de trois couches : les cristaux liquides sont en effet coincés entre deux polariseurs. Les deux polariseurs laissent passer, disons, la composante verticale de la lumière. En temps normal, les cristaux liquides n'ont aucun effet sur la lumière. Si de la lumière quelconque arrive sur l'écran, elle traverse le premier polariseur en perdant un peu de son intensité (car une partie de l'onde seulement passe). Après le premier polariseur, elle n'a plus qu'une composante verticale.

Elle traverse les cristaux, et elle traverse sans problème et sans perte le second polariseur, puisqu'elle a la bonne direction. Donc la lumière peut traverser l'écran, il est transparent. Mais quand les cristaux liquides sont soumis à un champ électrique, ils acquièrent ce qu'on appelle un pouvoir rotatoire : ils font tourner la direction de vibration de la lumière : de verticale, elle devient horizontale en traversant les cristaux. Cette fois, si de la lumière arrive sur l'écran, elle traverse le premier polariseur et la vibration est alors verticale. Elle traverse les cristaux liquides et sa polarisation devient horizontale. Elle arrive alors sur le second polariseur, qui ne laisse passer que les vibrations verticales - or ça n'est pas le cas de la lumière. La lumière est donc arrêtée, l'écran n'est plus transparent, il est noir.



De quel type de lunettes s'agit-il ?

2. POLARISATION CIRCULAIRE

A l'aide d'un polariseur P et d'une lame quart d'onde appropriée à l'onde électromagnétique utilisée, on peut fabriquer un polariseur circulaire en plaçant la lame quart d'onde derrière le polariseur rectiligne et en orientant les lignes neutres de la lame quart d'onde à 45° ou $\frac{\pi}{4}$ de la direction caractéristique du polariseur.

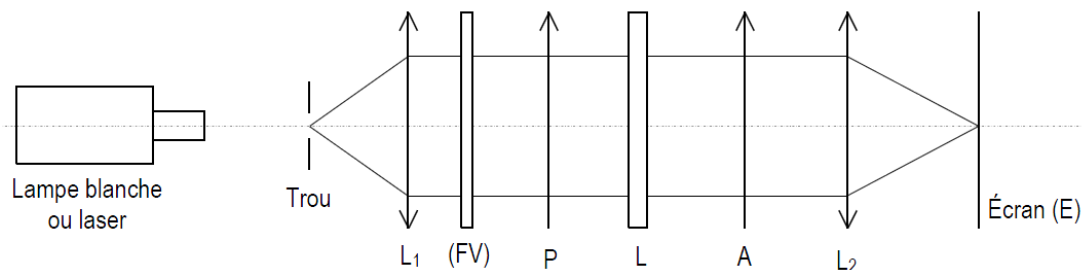
3. POLARISATION ELLIPTIQUE

A l'aide d'un polariseur P et une lame quart d'onde appropriée à l'onde électromagnétique utilisée, on peut fabriquer un polariseur elliptique en plaçant la lame quart d'onde derrière un polariseur rectiligne. L'ellipse ainsi produite possède pour axes les lignes neutres de la lame quart-d'onde.

II. ANALYSE D'UNE LUMIERE POLARISEE

1. DETERMINATION DES LIGNES NEUTRES D'UNE LAME.

a. MONTAGE DE BASE



Les lentilles L_1 et L_2 , respectivement de distances focales 100 et 200 mm, forment l'image du trou du diaphragme placé dans le plan focal objet de L_1 sur un écran (E) placé dans le plan focal image de L_2 . Les polariseurs P et A et la lame L, lame demi-onde ou quart d'onde, sont éclairés en lumière parallèle. Le filtre vert (FV) est adapté aux lames à retard utilisées, i.e. pour $\lambda = 558$ nm. On peut remplacer la lampe blanche et le filtre par un laser muni d'un élargisseur de faisceau. Initialement, le polariseur et l'analyseur sont réglés croisés : c'est un choix arbitraire de départ.

L'analyseur A est notre référence.

La position $\beta = 90^\circ$ de l'aiguille de l'analyseur A définit l'horizontale.

Remarque : Le nombre d'éléments dans ce montage est important, il faut donc particulièrement soigner l'alignement optique. La lentille L_2 n'est pas nécessaire mais sa présence assure une plus grande luminosité.

b. DETERMINATION DES LIGNES NEUTRES D'UNE LAME.

THEORIE :

En absence de lame, nous obtenons une extinction lorsque P et A sont croisés. Si on introduit la lame entre P et A, en général la vibration issue de la lame est elliptique quelconque et l'éclairement issu de l'analyseur n'est plus nul. Le polariseur et l'analyseur restant fixes et croisés, faisons tourner la lame. Lorsque les lignes neutres de la lame coïncident avec les directions caractéristiques, orthogonales, de P et A, la polarisation rectiligne due à P n'est pas modifiée par la lame et l'éclairement obtenu après A reste alors nul, quelle que soit l'épaisseur de la lame. Cette manipulation permet de repérer les directions des lignes neutres de la lame, sans toutefois permettre de déterminer quel est l'axe lent. Cette méthode est applicable à n'importe quelle lame, demi-onde, quart d'onde ou inconnue.

Remarque : La détermination précise de l'axe lent et de l'axe rapide est délicate et demande des appareils plus sophistiqués ainsi qu'une lame de référence.

MANIPULATIONS :

On réalise cette manipulation successivement avec une lame demi-onde et une lame quart d'onde.

- En l'absence de la lame L, placer l'analyseur A sur $\beta = 90^\circ$ et tourner le polariseur P pour obtenir l'extinction. P et A sont alors croisés. Noter les deux positions d'extinction α_1 et α_2 du polariseur P. La position α_1 définit la verticale
- Placer la lame L entre P et A croisés. Tourner la lame L dans son plan pour rétablir l'extinction et repérer les quatre positions $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ et θ_4 sur sa monture.
- Les directions θ_1 et θ_2 définissent les directions des lignes neutres de la lame. Quelles relations a-t-on entre ces quatre angles ?
- Orienter la lame L dans la direction $\theta_1 + \varepsilon$ avec $|\varepsilon| < 45^\circ$ ($|\varepsilon| \sim 20^\circ$ est satisfaisant) et tourner l'analyseur A.
 - ✓ Pour la lame quart-d'onde, vérifier qu'il n'y a jamais d'extinction. Faire un dessin et commenter.
 - ✓ Pour la lame demi-onde, rétablir l'extinction en tournant l'analyseur A. Commenter. A partir de la précédente extinction, enlever le filtre vert. Observer l'écran et commenter.

- ✓ Croiser P et A, $\alpha = \alpha_1$ et $\beta = 90^\circ$. Orienter à nouveau la lame demi-onde dans la direction $45^\circ + \theta_1$. Tourner le polariseur d'un angle ε avec $|\varepsilon| < 45^\circ$. Rechercher une nouvelle extinction en tournant l'analyseur A. Faire un dessin et commenter le sens et la valeur de la rotation.

2. REALISATION D'UN POLARISEUR CIRCULAIRE.

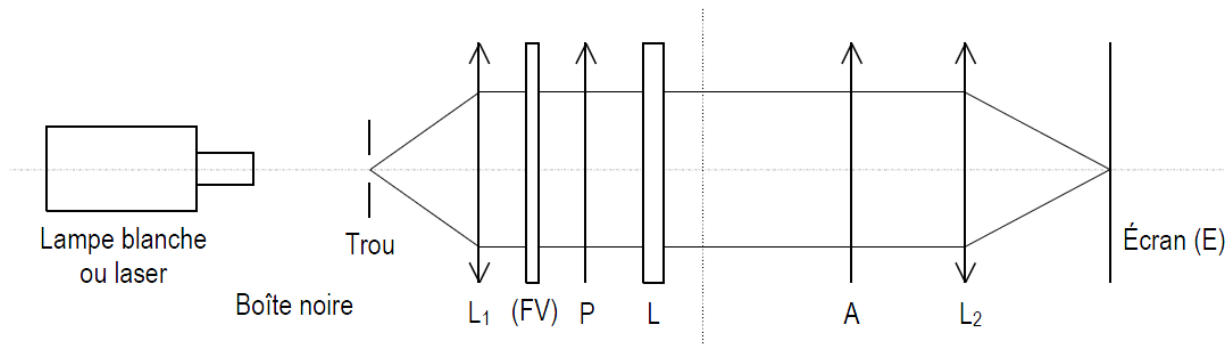
- Dans le montage de base, orienter la lame quart d'onde dans la direction $\theta_1 + 45^\circ$ et tourner l'analyseur A pour vérifier que l'intensité lumineuse transmise par la lame quart d'onde reste constante.
- Rajouter une deuxième lame quart-d'onde avant l'analyseur A.
- Faire tourner l'analyseur A. Qu'observe-t-on ? Commenter la suite des manipulations.

3. ANALYSE D'UNE LUMIERE POLARISEE

Notre but est de déterminer et de caractériser l'état de polarisation d'une lumière inconnue, totalement polarisée.

a. MONTAGE DE BASE

On reprend le montage précédent, mais ici l'ensemble {lampe blanche + L_1 + filtre vert + polariseur P + lame L} constitue une boîte noire qui crée un faisceau cylindrique d'une lumière totalement polarisée inconnue à déterminer. La lame est une lame quart d'onde dont les lignes neutres sont inconnues (on tourne la lame précédente d'un léger angle) Cette lumière est analysée à l'aide de l'analyseur A. La lentille L_2 focalise le faisceau cylindrique sur l'écran (E) placé dans le plan focal image de L_2 . Le polariseur P et l'analyseur A sont croisés, $\alpha = \alpha_1$ et $\beta = 90^\circ$.



b. ÉTAT DE POLARISATION

THEORIE :

Tourner l'analyseur rectiligne A dans son plan.

- Si on observe des minimums nuls, i.e. une extinction complète, la vibration est de polarisation rectiligne. Faire un dessin et commenter. Il reste à déterminer la direction.
- Si on observe des minimums non nuls, la vibration est polarisée elliptiquement. Faire un dessin et commenter. Il reste à déterminer les caractéristiques de cette polarisation : axes, sens de parcours et excentricité de la vibration.
- Si on n'observe pas de variations de l'intensité transmise par l'analyseur rectiligne, la vibration est polarisée circulairement ou naturelle (impossible ici).

Dans ce cas, on rajoute une lame quart d'onde entre le dispositif et l'analyseur et on fait tourner l'analyseur rectiligne :

- ✓ Si on n'observe pas de minimum nul, la polarisation est naturelle.
- ✓ Si on observe un minimum nul, la polarisation à la sortie de la boîte noire est circulaire. Dans le cas d'une polarisation circulaire, il reste à déterminer son sens de rotation.

Type de polarisation	Intensité $I(\beta)$ en sortie de l'analyseur
Polarisation rectiligne	$I(\beta)$ passe par un minimum nul
Polarisation elliptique	$I(\beta)$ passe par un minimum non nul
Polarisation circulaire	$I(\beta)$ est indépendant de β
Polarisation non - polarisée	$I(\beta)$ est indépendant de β

C. CARACTERISATION D'UN ETAT DE POLARISATION.

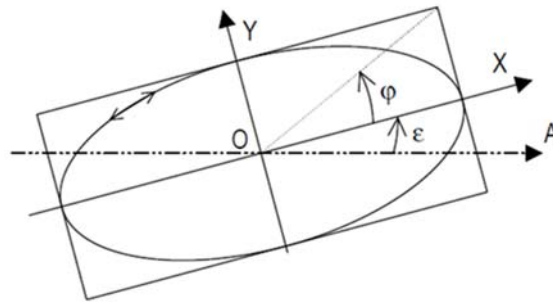
POLARISATION RECTILIGNE

La direction d'une polarisation rectiligne se détermine en recherchant l'extinction de la vibration à l'aide de l'analyseur A. En effet, si l'extinction complète de la lumière transmise par l'analyseur A est obtenue pour la position β [180°] de l'analyseur, alors la direction de polarisation de l'onde incidente est perpendiculaire à celle de l'analyseur, i.e. définie par $\beta \pm 90^\circ$.

POLARISATION ELLIPTIQUE

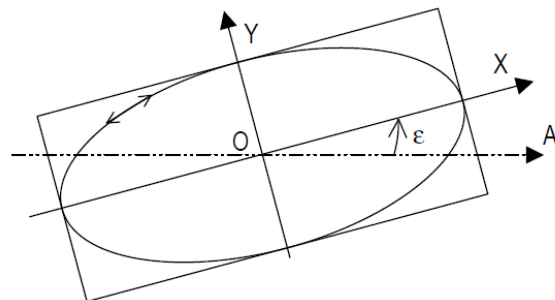
Principe : Pour déterminer les caractéristiques d'une polarisation elliptique, on utilise les propriétés de l'action d'une lame quart d'onde sur une onde polarisée elliptiquement. En effet, lorsque les lignes neutres d'une lame quart d'onde et les axes de la vibration elliptique coïncident, la lame quart d'onde transforme la vibration elliptique en une vibration rectiligne que l'on peut traiter comme précédemment.

Considérons une vibration elliptique inconnue d'axe OX et OY, alors l'analyse de cette polarisation s'effectue en deux étapes : La recherche des directions (OX : grand axe) et (OY : petit axe) de l'ellipse, donc l'angle ϵ par rapport à l'analyseur A ; et la détermination de la polarisation droite ou gauche, et simultanément le rapport des demi grand axe, a, et petit axe, b, donc l'angle φ .

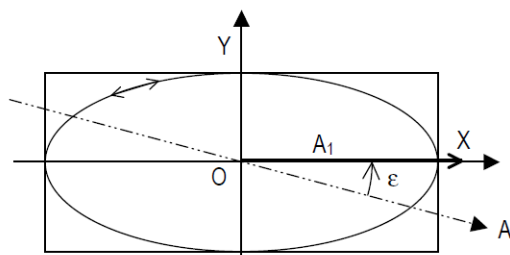


Manipulations :

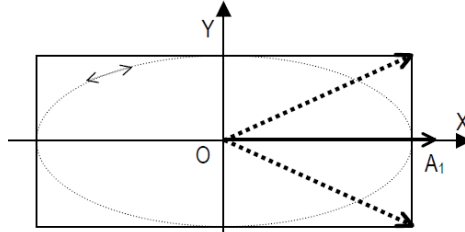
- L'onde polarisée elliptiquement à analyser sort de la boîte noire et l'analyseur A définit l'horizontale. Ai est la position initiale de l'analyseur.



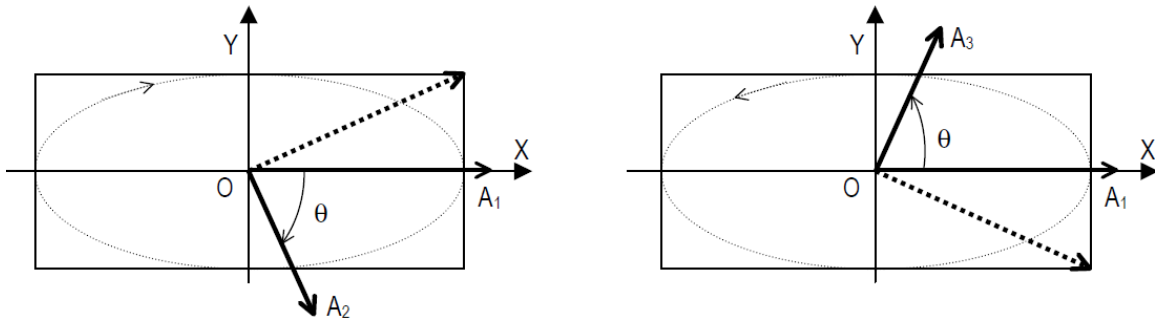
- Par rotation de l'analyseur rectiligne A, repérer la direction $\epsilon + 90^\circ$ de la vibration d'intensité minimale. Cette direction $\epsilon + 90^\circ$ détermine la direction du petit axe de l'ellipse. L'analyseur A et l'axe OY sont confondus. Placer l'analyseur sur la position ϵ . L'analyseur marque alors le grand axe de l'ellipse OX. Cette nouvelle position de l'analyseur est notée A1. Pour une plus grande clarté, on représente l'ensemble avec la nouvelle position A1 horizontale.



- Intercaler entre l'analyseur A_1 et la boîte noire une lame quart d'onde dont l'axe rapide coïncide avec la direction ϵ repérée précédemment, i.e. avec le grand axe de l'ellipse de la vibration. Dans ces conditions, la vibration produite est de polarisation rectiligne, et sa direction est fonction du sens de rotation de la vibration elliptique initiale



- Rétablir l'extinction en tournant l'analyseur A d'un angle $\theta < 90^\circ$. La direction de transmission est alors perpendiculaire à celle de la vibration à pointer. Repérer le sens de rotation de l'analyseur et la valeur de θ .



Dans la position A_2 , l'ellipse de départ est droite et dans la position A_3 , l'ellipse de départ est gauche

- En déduire l'angle α (avec $\tan^2 \alpha = \left(\frac{E_{oy}}{E_{ox}}\right)^2 = \textit{ellipticité}$) et l'hélicité de la vibration,

Conclusion :

Pour analyser une lumière polarisée elliptiquement, il faut la transformer en une lumière de polarisation rectiligne au moyen d'une lame quart d'onde :
 Les directions des axes de l'ellipse coïncident avec celles des lignes neutres de la lame quart d'onde et sont données par ϵ et $\epsilon + 90^\circ$.
 Les autres caractéristiques de l'ellipse, son hélicité et son ellipticité, sont déduites de l'angle θ :
 Si on tourne l'analyseur d'un angle $\theta < 90^\circ$ vers la droite la vibration est elliptique droite
 Si on tourne l'analyseur d'un angle $\theta < 90^\circ$ vers la gauche la vibration est elliptique gauche.

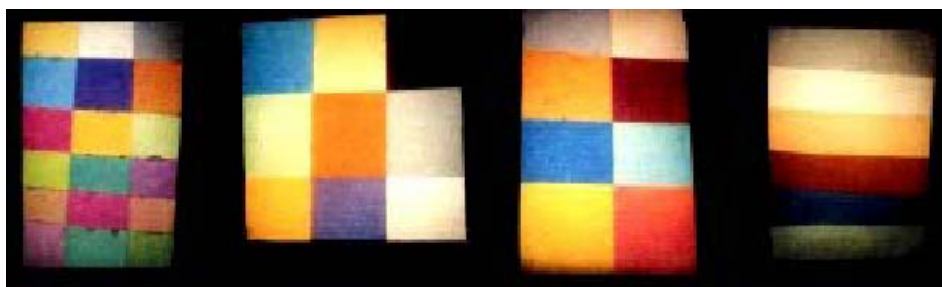
Remarque : Si on dispose d'un photorécepteur à la place de l'écran, on peut mesurer les intensités maximale et minimale lorsque l'analyseur pointe le demi grand axe ou le demi petit axe : $I_{max} = \frac{E_0^2}{2} \cos^2 \alpha$ et $I_{min} = E_0^2 \sin^2 \alpha$

Le rapport $\frac{I_{min}}{I_{max}} = \tan^2 \alpha = \left(\frac{E_{oy}}{E_{ox}}\right)^2$ définit l'ellipticité de la vibration

Remarque : Si la vibration incidente est circulaire, la lame quart-d'onde la transforme en vibration rectiligne dirigée suivant une des bissectrices de ses lignes neutres quelle que soit leur orientation. L'angle $|\theta|$ vaut 45° et la seule caractéristique à déterminer est le sens de rotation de la vibration, son hélicité.

III. ACTION DE LA LUMIERE BLANCHE SUR UNE LAME D'ÉPAISSEUR VARIABLE – MESURE DE BIREFRINGENCE.

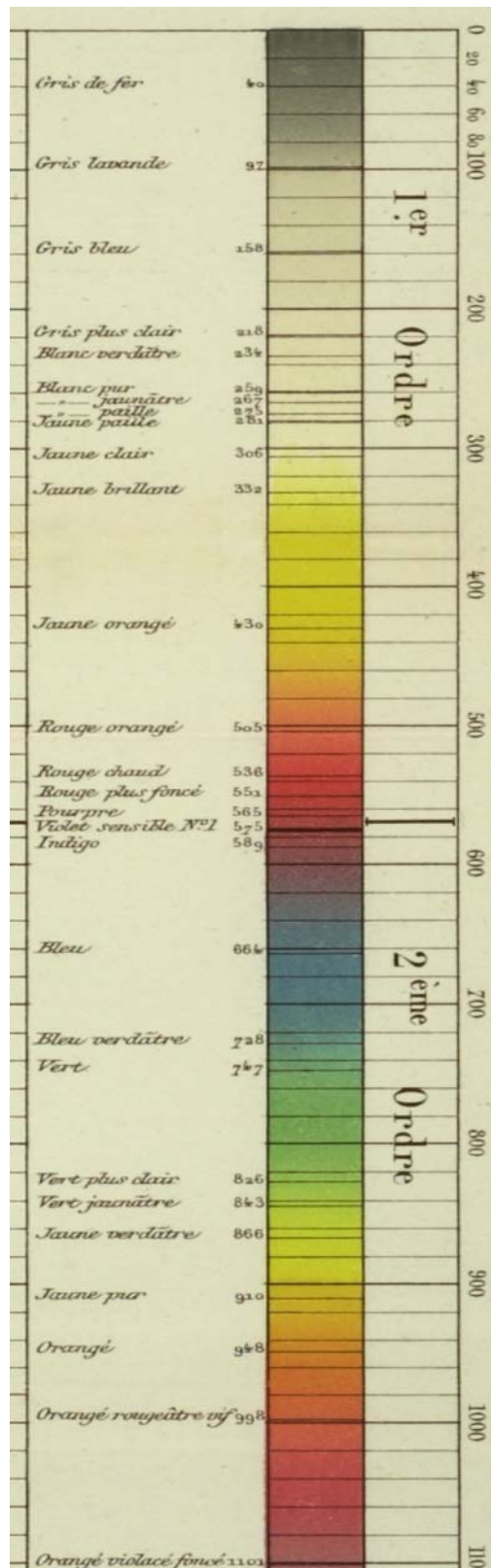
- On remplace la lame précédente par un ensemble de bandes de papier adhésif transparent superposées, et placées suivant des directions quelconques, éclairées par une source de lumière blanche.
- Le retard φ induit par chaque couche de scotch dépend de la longueur d'onde et de l'épaisseur traversée.
⇒ On peut ainsi éteindre certaines longueurs d'onde du spectre de la lumière blanche: celles pour lesquelles φ est un multiple entier de 2π : l'image présente ainsi des teintes qui varient d'une zone à l'autre.
- En plaçant entre la couche d'adhésif et l'analyseur une lame quart d'onde, et en l'orientant convenablement, on peut obtenir une palette de couleurs "pastels" reproduisant tout ou en partie l'échelle dite "des teintes de Newton" : l'introduction de la lame $\lambda/4$ permet d'augmenter les différences de marche induites par les couches de scotch.



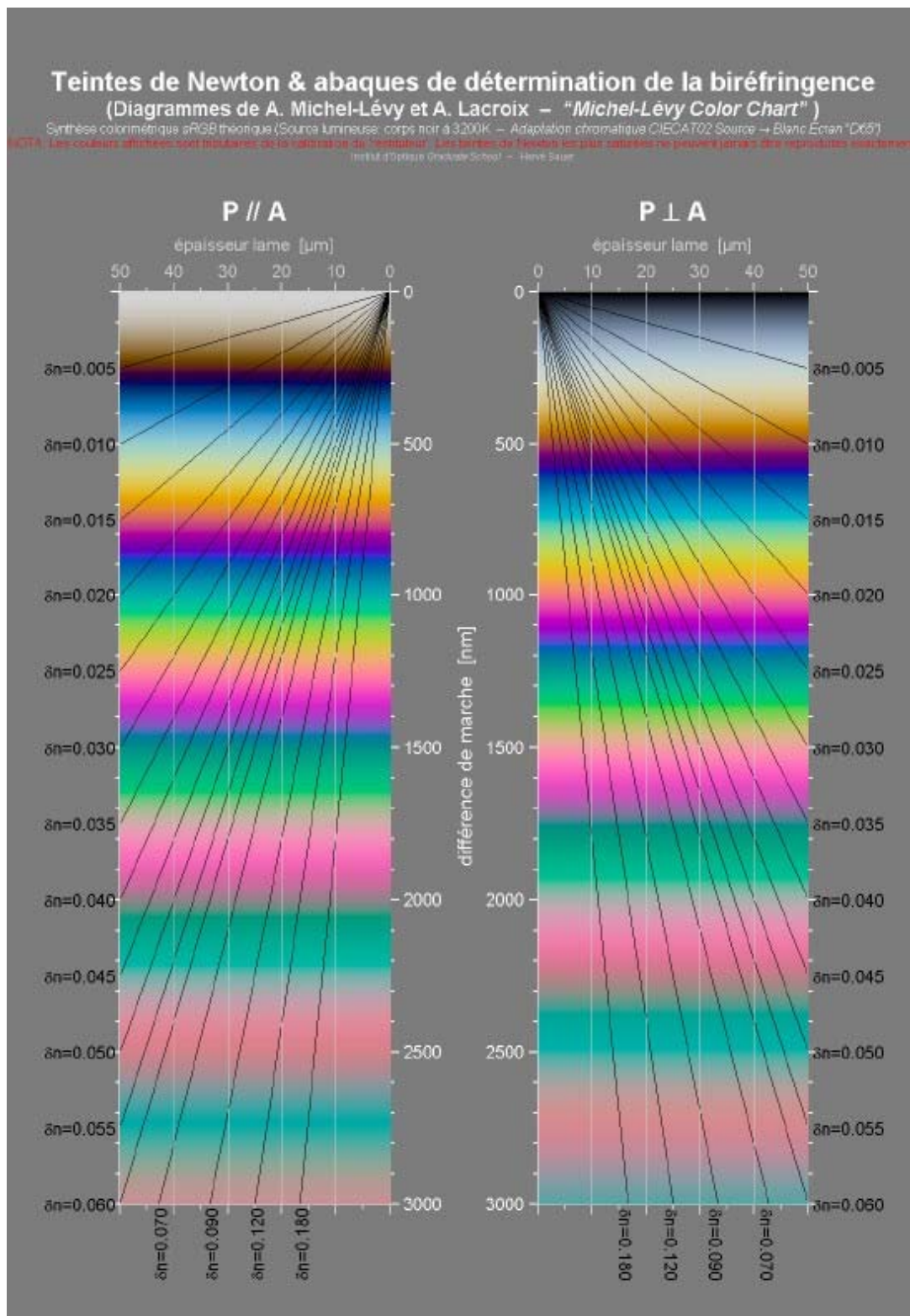
⇒ A l'aide des annexes, proposer un protocole permettant de mesurer la biréfringence d'une couche de scotch.

ANNEXES

ECHELLE DES TEINTES DE NEWTON :



ABAQUE POUR L'ECHELLE DES TEINTES DE NEWTON :



Analyse et production d'une lumière polarisée : Synthèse

PRODUCTION D'UNE LUMIERE POLARISEE

1. Polarisation rectiligne

Une onde polarisée rectilignement est produite par un polariseur rectiligne (P) qui est notre polariseur de base.

2. Polarisation circulaire

Une onde polarisée circulairement est produite par un polariseur rectiligne (P) associé à une lame quart d'onde dont les lignes neutres sont orientées à 45° par rapport à la direction caractéristique du polariseur (P).

3. Polarisation elliptique

Une onde polarisée elliptiquement est produite par un polariseur rectiligne (P) et une lame quart d'onde dont les lignes neutres ne sont ni parallèles, ni orientées à 45° par rapport à la direction caractéristique du polariseur (P). L'ellipse ainsi produite possède pour axes les lignes neutres de la lame quart d'onde.

ANALYSE D'UNE LUMIERE POLARISEE

On place un analyseur rectiligne (A) derrière l'onde à étudier puis si nécessaire une lame quart d'onde.

1. Polarisation rectiligne

Lorsqu'on tourne l'analyseur rectiligne (A) dans son plan, on observe des minimums d'intensité nuls (une extinction complète) : La vibration est de polarisation rectiligne de direction perpendiculaire à la direction de l'analyseur.

2. Polarisation circulaire

Lorsqu'on tourne l'analyseur rectiligne (A) dans son plan, on observe une intensité constante : La vibration est de polarisation circulaire ou naturelle (impossible ici).

Dans ce cas, on rajoute une lame quart d'onde entre la vibration et l'analyseur : l'onde résultant est alors de polarisation rectiligne. On fait coïncider la direction de l'analyseur (A) et l'axe rapide de la lame rajoutée et on fait tourner l'analyseur rectiligne : Le sens de rotation permettant d'obtenir l'extinction pour un angle de rotation $\theta < 90^\circ$ définit l'hélicité de la vibration circulaire.

3. Polarisation elliptique

Lorsqu'on tourne l'analyseur rectiligne (A) dans son plan, on observe des minimums d'intensité non nuls : La vibration est polarisée elliptiquement.

Dans ce cas, on rajoute entre la vibration et l'analyseur une lame quart d'onde dont les lignes neutres coïncident avec les axes de la vibration elliptique préalablement déterminés : L'onde résultant est alors de polarisation rectiligne.

Plus précisément, on intercale entre l'analyseur (A) et la vibration une lame quart d'onde dont l'axe rapide coïncide avec le grand axe de l'ellipse de la vibration.

Dans ces conditions, la vibration produite est de polarisation rectiligne et sa direction est fonction du sens de rotation de la vibration elliptique initiale.

On fait coïncider la direction de l'analyseur (A) et l'axe rapide de la lame rajoutée et on fait tourner l'analyseur (A) rectiligne : Le sens de rotation permettant d'obtenir l'extinction pour un angle de rotation $\theta < 90^\circ$ définit l'hélicité de la vibration elliptique.

Organigramme final

